# 建立畜禽废弃物养分管理制度 促进种养结合绿色发展

董红敏[1*]　左玲玲[2]　魏　莎[1]　朱志平[1]　尹福斌[1]

1 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所　北京　100081

2 中华人民共和国农业农村部　畜牧兽医局　北京　100125

**摘要**　种养结合循环发展是畜禽废弃物资源化利用的根本出路，种养结合是破解农业面源污染难题、践行绿色发展理念的重要举措。文章在分析国内资源化利用现状的基础上，针对种养结合存在种养纽带断裂、粪肥施用方式粗放、种养结合长效机制缺乏，造成的粪肥还田难、利用效率低的问题，结合欧盟、美国、日本的种养结合政策和模式经验，针对不同畜禽养殖业经营主体，提出了3种专业化种养结合模式，以及构建我国畜禽废弃物养分管理制度的政策建议。建立畜禽粪便养分平衡可监测、可报告和可核证台账，形成种养结合可持续运行的机制，促进种养结合绿色发展。

**关键词**　畜禽，废弃物，种养结合，养分管理，第三方服务

**DOI**　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.02.007



推进畜禽粪污资源化利用，是贯彻落实党的十九大重要战略部署，是践行“绿水青山就是金山银山”理念的重要举措，是破解农业农村突出环境问题、实施乡村振兴战略、建设生态文明国家的战略选择。畜禽粪便一直是我国农业生产的主要有机肥源，种养结合、用地养地农业发展模式支撑了我国几千年的农业文明史。但是，近年来随着畜牧业规模养殖的快速发展，粪便量大且集中、受季节限制、施用不便等因素制约，农业生产中内部物质能量循环流动的链条中断，许多粪便资源变成了重大污染源[1]。

党中央和国务院高度重视畜禽废弃物资源化利用。2016 年 12 月，习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议讲话中指出“要坚持政府支持、企业主体、市场化运作的方针，以沼气和生物天然气为主要处理方向，以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向，力争在‘十三五’时期，基本解决大规模畜禽养殖场粪污处理和资源化问题”。2017 年 6 月，国务院办公厅印发了《关于加快推进畜

*通讯作者

资助项目：国家生猪产业技术体系（CARS-35），中国农业科学院科技创新工程
修改稿收到日期：2019年2月12日

禽养殖废弃物资源化利用的意见》（国办发〔2017〕48 号），提出到2020年，建立科学规范、权责清晰、约束有力的畜禽养殖废弃物资源化利用制度，构建种养循环发展机制，全国畜禽粪污综合利用率达到75%以上[2]。

种养结合是畜禽废弃物资源化利用的关键。本文在分析国内资源化利用现状的基础上，针对我国种养结合存在的主要问题，借鉴国际畜禽粪污治理政策和模式经验，提出我国种养结合对策建议，为我国畜禽粪污资源化利用和种养结合绿色发展提供参考。

## 1 我国畜禽废弃物资源利用现状及种养结合存在的问题

近年来，农业农村部、财政部、科技部等部委认真贯彻党中央、国务院决策部署，大力推进畜禽养殖废弃物资源化利用。科技部国家重点研发计划专项中设立了“畜禽废弃物无害化处理与资源化利用新技术及新产品研发”项目。2017 年，农业部印发《畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020 年）》，集成创建了资源化利用7种典型技术模式，包括粪污全量收集还田利用模式、粪污专业化能源利用模式、固体粪便堆肥利用模式、异位发酵床模式、粪便垫料回用模式、污水肥料化利用模式和污水达标排放模式[3]。2017 年，农业部、财政部和国家发改委联合启动了中央财政畜禽粪污资源化利用试点项目和中央预算内投资整县推进畜禽粪污资源化利用项目，目前已支持了 300 个畜牧大县整县推进。2017 年 2 月，农业部印发了《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》，在全国选择了 100 个果、菜、茶生产重点县开展有机肥替代化肥行动。通过上述行动的实施，加快推进了畜禽废弃物的处理利用率，截至 2017 年底，全国畜禽粪污综合利用率达到 70%，规模养殖场粪污处理设施装备配套率达到 63%。但是，目前全国 70% 以上农业园区为单一种植业或单一养殖业，粪肥还田“最后一公里”问题仍待解决。

### 1.1 小农户种植与规模化养殖脱节

随着人民生活水平的提高，对畜产品需求量的加大，畜禽规模养殖比重迅速提升，种养主体从规模和空间布局逐步分离。以生猪养殖为例，年出栏头数大于 500 头生猪的规模化比例从 1998 年的 8% 增加到 2017 年的 47%，年出栏头数大于 50 头和大于 100 头生猪的养殖比例从 1998 年的 23.2%和 14% 分别增加到 2017 年的 75.4% 和 64.4%（图 1）。

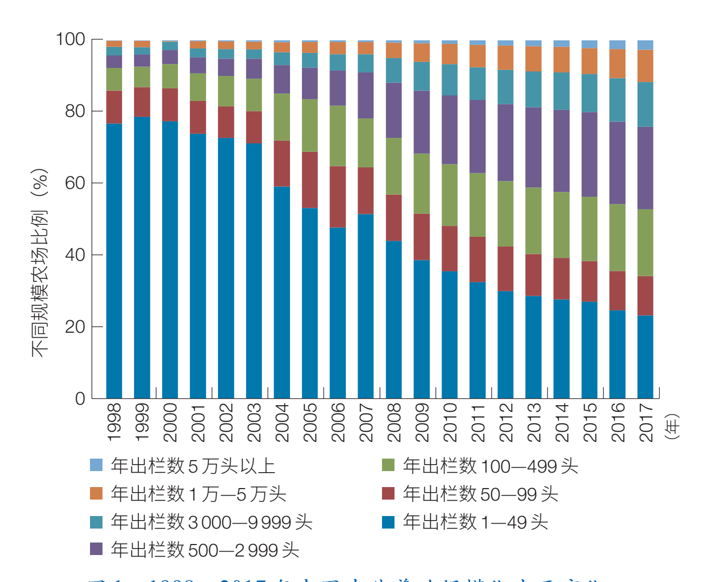



图 1　1998—2017 年中国生猪养殖规模化水平变化

数据来源：1999—2013 年《中国畜牧业年鉴》，2014—2018 年《中国畜牧兽医年鉴》

根据农业农村部统计，我国种植业经营组织的规模总体仍然以小农为主，并将在相当长一个时期保持这种状态。截至 2016 年底，我国农户户均耕地面积约为 9.8 亩，经营规模在 50 亩以下的农户占农户总数的 97% 左右，经营的耕地面积占全国耕地总面积的 82% 左右，户均耕地面积 5 亩左右；经营规模在 50 亩以上的规模化农业经营主体约有 400 万个，平均经营规模也只有 100 亩左右（表 1）[4]。

按照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》中推荐的畜禽适宜承载力标准，5 亩地只能承载出栏 50 头以下生猪产生的粪便养分。按照种植业规模经营户

均100亩土地计算，也只能承载500头存栏猪场的粪肥全部就地利用。再加上规模养殖不能占用基本农田，使得养殖场大多分布在偏远山地等区域，空间分离进一步加剧了种养分离，导致我国畜禽废弃物农田利用率低，粪便氮还田施用量约占排泄量的30%；粪便磷还田施用量仅占排泄量的约48%[5]。

### 1.2 施用方式粗放、粪便养分利用效率低

一头猪就是一个小型有机化肥厂。据统计，我国当前每年产生的动物有机肥（畜禽粪便）总量约为1 400万吨纯氮，约相当于化学氮肥年生产量的一半[6]。畜禽粪便除了氮、磷、钾和微量元素等养分外，还有大量有机质，因此，粪便还田可提高土壤有机质含量，改善土壤物理化学性质，有助于作物产量的提高。东北有机肥农田施用试验表明，当有机肥的有机质含量 > 70.0%（烘干基），施用量在6 000 ±1 500 kg/$hm^2$以上时，连续施用3年，黑土地土壤有机质含量能够增加0.9—1.8 g/kg，0—35 cm黑土地表层土壤腐殖化物质增加36.0%以上[7]。用畜禽粪便部分替代化学氮肥施用后，能将我国三大主粮作物的平均产量提高6.8%，将作物的氮素吸收量提高6.5%，氮肥利用率提高10.4%。与此同时，还可以将$NH_3$挥发损失量降低23%，氮淋溶损失量降低25.8%，氮径流损失量降低26.7%[8]。

粪肥不同于化肥，畜禽粪便养分含量低、体积大（表2）[9]，再加上厌氧发酵设施、管网设施、沼液（尿液）贮存池、粪便堆放发酵场地、专用运粪车辆、滴灌或喷灌设施、固体有机肥施用机械等农业设施及设备匮乏且产业化水平低，导致贮存、运输和施用不方便。另外，不管是规模化养殖场还是中小农户，粪肥施用主要靠经验，有机肥和化肥的配比不合理，施用时间和施用量不科学，再加上目前沼渣、沼液等以表施为主，不仅造成作物减产，同时还会带来氨气、臭气等环境污染，因此导致农民有机肥使用积极性不高。研究表明，施用到农田中的畜禽粪污氮养分有近40%因为施肥方式的不合理和设施设备的缺乏而排放到水体和大气中[5]。

### 1.3 种养结合长效运行机制缺乏、粪肥农田利用竞争力弱

种养结合涉及畜牧业、种植业、环境保护等不同行业和部门。在国家有关部门和各地政府的积极推

表1 2016年末我国农业经营户户数、耕地面积情况表

| 类别 | 全国 | 东部地区 | 中部地区 | 西部地区 | 东北部地区 |
|---|---|---|---|---|---|
| 农业经营户（万户） | 20 743 | 6 479 | 6 427 | 6 647 | 1 190 |
| 耕地面积（万公顷） | 13 492.1 | 2 583.3 | 3 071.5 | 5 043.5 | 2 793.8 |
| 农户平均耕地面积（亩/户） | 9.8 | 6.0 | 7.2 | 11.4 | 35.2 |
| 50亩及以上规模农业经营户（万户） | 398 | 119 | 86 | 110 | 83 |

表2 不同动物1吨粪污养分含量和对应的化肥数量

| 类别 | 折纯N（kg） | 折纯P（kg） | $(NH_4)_2SO_4$（kg） | $Ca(H_2PO_4)_2$（kg） |
|---|---|---|---|---|
| 猪粪污 | 3.52 | 0.51 | 8.4 | 1.9 |
| 奶牛粪污 | 2.42 | 0.39 | 5.8 | 1.5 |
| 肉牛粪污 | 2.64 | 0.33 | 6.3 | 1.2 |
| 蛋鸡粪污 | 7.80 | 1.93 | 18.6 | 7.3 |
| 肉鸡粪污 | 7.92 | 2.02 | 18.9 | 7.6 |

动和支持下，种养结合废弃物利用取得了显著成效。2018年1月，农业部发布了《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》，为各地优化调整畜牧业产业布局，促进农牧结合提供了方法标准，为畜禽粪污还田面积配套需求提供了依据[9]。但目前我国种养循环效益链条不完整，长效运营机制缺乏，产品成本高、商品化水平低、农民参与积极性低等问题依旧突出，粪肥还田“最后一公里”途径不畅。主要存在4个方面问题。

（1）有机肥市场竞争力远远低于化肥。粪肥和有机肥肥效长、见效慢、有异味、养分含量不稳定，与化肥肥效高且运输、储存、使用方便等特点形成对比；加之有机肥施用成本高，若按照大田作物亩均化肥施用量100 kg测算，施用化肥总成本为250元，而施用固体有机肥总成本为500多元。

（2）专业化第三方服务机构能力明显不足。社会化服务组织数量少、规模小、服务能力弱。这些都导致了畜禽粪污还田利用在市场、管理、技术和社会方面无法得到有力的支持和推进。

（3）部分粪肥可能还含有重金属和抗生素。贾武霞等[10]对我国部分城市畜禽粪便中重金属分析表明，猪粪中铜（Cu）、锌（Zn）、镉（Cd）和砷（As）的平均含量分别为506.3、2088.8、0.8和9.1 mg/kg；鸡粪中Cu、Zn、Cd和As的平均含量分别是61.7、429.7、0.5和11.3 mg/kg，部分受检畜禽粪污重金属超过国家《农用污泥中污染物控制标准》要求。

（4）我国对于畜禽养殖业发展还没有提出以种养结合养分平衡管理为基础的准入制度，更缺乏适合不同区域、不同作物的种养结合操作指南。有的地方要求粪便肥水经过处理后达到灌溉水标准再用于农田，不仅增加成本还失去肥水价值。有的地方将环保与畜牧业发展对立起来，简单粗暴地拆迁关闭，有机肥施用不足、化肥过量施用，造成部分地区土壤退化严重、耕地质量整体水平偏低。而目前我国耕地土壤有机质含量不足1%的面积达到26%，整体有机质含量低于欧洲同类土壤的一半，全国中低产田面积占耕地总面积比例高达70%[11]，耕地内在质量建设亟待加强。

## 2 国际畜禽废弃物农田种养结合模式及特点

大部分发达国家与我国一样，随着规模化畜禽养殖迅速发展，也曾经历畜禽养殖污染严重的阶段。但随着各国种养结合机制创新和规范还田利用的普及，大多实现了畜禽废弃物资源化利用，不仅解决了环境污染问题，还促进了农业的可持续发展。

### 2.1 美国以粪便养分综合管理计划为基础的全量还田模式

美国国土辽阔、农田面积大，规模化养殖场都采用种养结合全量利用模式，并形成了以综合养分管理计划（CNMP）为核心的政策体系。1999年3月，美国国家环境保护局和美国农业部共同发布的《规模化畜禽养殖业战略》，战略性地提出所有畜禽养殖场应制定和实施技术合理、经济可行且因地制宜的综合养分管理计划，以减少对水质与公共卫生的影响[12]。CNMP既是受强制法规要求必须申请排污许可的大规模畜禽养殖场取得排污许可的重要依据，也是不受强制法规管理的畜禽养殖场的自愿行动。2003年2月，规模化畜禽养殖场的排污许可纳入美国《清洁水法案》中的“国家污染物排放消减系统”（NPDES），其后虽然经过2008年、2012年两次修订，但粪便综合养分管理计划一直作为废弃物资源利用和排污许可制度的核心。NPDES法规中规定了规模化养殖场在没有获得NPDES排污许可前不能向环境排放污染物，新建或已有的大型和中等规模养殖场需要申请排污许可，并且在申请时须提出粪污产生量、贮存方式和容积、农田利用面积、委托处理量等；持有排污许可证的规模养殖场必须制定养分管理计划，制定粪污农田利用技术规程，定期对粪便和土壤进行检测等，并向管理部门提交年度报告[13]。

在具体实践中，美国种养结合全量利用模式的具

体做法是将养殖粪便和污水混合贮存后作为液体肥料进行农田利用，并开发了与之配套的畜禽粪便综合养分计划软件、液体粪肥农田利用配套的运输系统，以及多种农田施肥技术和专用设备。在个别养殖场中，当畜禽粪便的养分供应量超过农作物的养分需求或土地承载力时，这些养殖场会选用其他的粪污处理利用方法，如堆肥处理、厌氧发酵处理等，但这些技术在美国养殖场粪污处理中所占比重很小。养殖业与种植业之间在饲草、饲料、肥料 3 个物质经济体系上形成相互促进、相互协调的关系，养殖场的动物粪便或通过输送管道，或直接干燥固化成有机肥归还农田，既防止环境污染，又提高了土壤的肥力[14]。

### 2.2 欧盟实施以养分平衡为基础的生态利用模式

欧盟国家畜牧业生产专业化程度高、精准管理水平高、环保要求高。欧盟各成员国必须严格执行欧盟在控制畜禽养殖环境污染方面出台的系列法规及政策，如《硝酸盐指令》《欧盟共同农业政策》《良好农业规范》等。1991 年，欧盟颁布实施的《硝酸盐指令》要求所有成员国采取措施减少农业源氮引起的水体污染，主要内容包括：控制农田非有机氮肥的施用，控制粪肥的施用，控制污泥和粪肥的施肥时间和土壤类型，保持农户种植、养殖和肥料管理的台账记录等。《欧盟共同农业政策》基本思路和原则是种植业规模决定着养殖业结构的调整，因此，从 20 世纪 80 年代开始不再允许养殖户扩大经营规模，并且制定了畜禽养殖业准入政策，规定现有养殖场计划扩大养殖规模必须购买或租用土地来支持动物数量的增加，或者与其他农场企业签订粪污购买合同，以保证增加的动物数量所产生的粪污有足够的土地进行消纳及合法去向。在一些欧盟成员国，例如德国和荷兰，已经不支持新建养殖场并限制养殖场的扩大经营。

*为了减少农田粪肥的过量施用，减少对水体污染，欧盟各成员国需要根据自身情况并且基于《硝酸盐指令》制定单位耕地的畜禽承载量。*德国畜禽养殖场的规划设计需要报农业部门审批，畜禽粪便的处理利用工艺和具体做法是报批的重要内容。目前德国主要根据农场的土地面积与消纳能力来确定动物饲养量，每公顷各种动物分别允许饲养数量为：牛 3—9 头、马3—9 匹、羊 18 只、猪 9—15 头、鸡 1 900—3 000 只、鸭 450 只。如果养殖场采用农田利用方式来处理和利用畜禽粪便，则需要审查配套农田的面积、种植作物种类、农田地势、坡度及土壤类型等，以确定配套农田是否能够满足养殖场畜禽粪便的处理。如果养殖场配套农田数量无法将所有粪便还田利用，则必须要与其他拥有土地的农户或者企业签订粪便销售合同，以确保养殖场粪污不会对周围水体造成危害。

*此外，欧盟各成员国还严格限定了畜禽粪便施肥时间和施肥量。*德国《肥料法》对畜禽粪便和有机肥施用量、施用时间、粪便贮存时间的最低要求等有明确规定。有机肥施用量：冬小麦施用总氮量不超过 210 kg/hm$^2$，一般作物耕地施用总氮量不超过 170 kg/hm$^2$。施用时间：一般每年施肥 2 次，分别在春季和秋季，每年 11 月 15 日到次年 1 月 15 日原则上不允许施肥；在冬小麦种植期间，每年 9 月份到次年 4 月份不允许施肥；同时，在雨雪天气，为了防止氮流失，一般也不允许施肥。而丹麦则规定水域面积 100 平方米以上的水体方圆 2 米以内不允许施用粪肥，坡度大于 6 度的坡地方圆 20 米内不得施用粪肥，100 米内不得建设粪水贮存设施。同时鼓励农民采用酸化和深施等方式减少氨气排放。丹麦法律还规定了土地载畜量，所有养殖场必须满足“和谐原则”。每户农民所施用畜禽粪便、化肥的数量和时间，要通过互联网向丹麦农业部报告，并接受技术顾问的指导和监测。

### 2.3 日本实施以堆肥为核心的废弃物资源利用模式

日本人多地少，面临农地、水资源、能源等制约。20 世纪 70 年代，日本发生过严重的“畜产公害”事件，在此之后，日本先后制定了多个与畜禽污染管

理相关的法律，包括《废弃物处理法》《水污染防治法》《恶臭防治法》等。《水污染防治法》详细规定了畜禽污水的排放标准，对于达到一定数量标准的养殖场，要求其必须按照法律规定对污水进行处理。

日本经济发达，设施投入都较为先进，畜禽粪污资源化利用主要采取高补贴、高投入、高去除效率、高环境效益的模式[15]。由于对畜禽粪便的处理，一般采用堆肥处理工艺，同时注重有机肥生产点环境建设，资金投入很大，但总体建设规模都不大。日本政府投入机制较为完善，政府实行农业基础设施补贴制度，对建设现代化的猪、鸡、牛养殖场，政府给予全部投入额 40% 的补贴，在低息贷款上落实有力，解决了农牧业发展所需的资金问题，并且对部分进口的饲料生产原料给予税收减免。

## 3 构建专业化种养结合畜禽废弃物利用模式

种养结合循环发展是畜禽粪污资源化利用的根本出路。由于畜禽养殖场是废弃物污染防治和资源化利用的责任主体，目前种养结合模式主要是养殖场主根据周边配套农田面积情况选择全量农田利用或者液体就近利用。当养殖场周边农田面积较大时，畜禽粪污经氧化塘或沼气工程、堆肥等无害化处理后全部施用于周边农田。而当周边农田面积不足时，往往经过固液分离后再固体、液体分质利用。固体粪污自行或委托第三方进行堆肥异地利用，液体粪污处理后就近就地利用。这两种模式往往需要规模养殖场直接去对接种植业，但也存在着专业化、市场化水平低，存在粪肥施用技术和机械不配套、不科学等问题。急需探讨可持续运行的种养结合循环模式。本文介绍以粪污利用台账为核心的不同规模养殖种养结合模式。

### 3.1 中小散养殖场户：社会化服务——粪污利用合作社，全量还田施用模式

党的十九大提出乡村振兴战略，明确指出要实现小农户和现代农业发展有机衔接。小农户畜禽养殖是在种植业小农户基础上发展起来的兼具种植和养殖的经济主体。小型畜禽养殖户存在经营规模较小、粪污收集、处理和施用等管理技术和水平粗放、销售运输半径小、农户市场参与程度低、缺乏社会化服务、产业价值链短、土地承包与流转不畅等问题。2018 年，中央农村工作会议上提出要加快发展生产性服务业，把小农户带入现代农业产业链、价值链。

针对养殖密集区中小散养殖场户，发展构建以村落为组织单位的“社会化服务——粪污利用合作社，全量还田施用模式”，充分挖掘小农户潜力，实行种养结合。该模式以村或镇为单元，牵头成立粪污收集施用合作社，购买粪污运输和还田机械设备，并指导各户养殖圈舍改造并建立粪污储存池。中小养殖户产生的畜禽粪污通过管道自流或泵输送到密闭储存池发酵 4—6 个月。施肥季节，粪污利用合作社负责输送并按照作物需求全量施用还田，同时记录粪肥收集、输送和施用的记录台账。为了保证农田施用的效果，县或镇政府负责提供技术指导和抽检粪肥的利用情况和效果。该模式有 3 个特点：① 减少养殖场或散养密集区的散养户对粪污处理设施投资和运营管理成本；② 减少种植户对大型农业机械和科学施肥的投资；③ 提高村落养殖种植业产业链附加值。

广西壮族自治区玉林市福绵区中小散养殖场户存栏生猪量占总存栏量的 50%，广大中小散养殖户粪污管理和资源化利用一直是难点。对此，福绵区依靠政府牵头、社会技术服务和政策指导，全面封堵养殖场户粪污和沼液直排口；派技术人员全程指导养殖场户配套沼液肥贮存池，在当地组织和培育了 11 家收运还田合作社，用于沼液肥收集还田工作；并运用信息化管理，对所有养殖场户粪污产生、处理、利用的全过程进行监控，实现养殖密集区散养殖场户粪污的种养结合。该模式政府仅投资 300 多万元用于购置专业车辆和装备等收运体系建设，每头存栏猪平均投入仅约 12 元；农户在政府技术指导下建设贮肥池，可使

用20年，每头存栏猪仅需投入250元。同时，当地组建的粪污清运施用合作社不仅减轻了养殖户对粪污处理的压力，减少了种植户肥料的投入成本，还通过一定的收费服务获得利润，带动了区域新的产业模式和就业问题。

### 3.2 规模化养殖场：就地就近全量还田——第三方商业化服务模式

针对场区面积有限或周边土地消纳面积不足的大型规模化养殖场，构建“就地就近全量还田——第三方商业化服务模式”。大型养殖场由于粪污产生量大且集中，养殖企业一般无法配套与粪污产量相适应的足够农田。如果养殖场直接寻找农户或企业签订合同，除了会带来时间和经济成本的提高之外，还可能存在非专业化还田造成的施用成本高和不合理施用所带来的环境问题。第三方专业化服务机构可以将养殖和种植联合起来，通过专业化的粪污收集、贮存和施肥管理，可以实现“三赢”的合作机制。

例如，黑龙江省哈尔滨市双城区引入北京丹青诺和牧业科技有限公司，正在探索粪肥施用的第三方商业化服务。该公司基于黑龙江省哈尔滨市双城区的规模化养殖场，建有公共粪肥存储池100个，粪肥播洒机及配套机械设备50套。该公司收集双城区的奶牛场、猪场粪污2万吨（干物质含量低于12%），将收集的粪污存储在密闭存贮设施中；在春播前及秋收后，使用高效还田设备，按测土测粪配方进行均质、精准还田。目前该公司在双城区总投资1 420万元，包括服务站点和运输车辆1 020万元，养殖场粪污贮存池400万元；2016年公司在双城区年运行成本110万元，公司向养殖场收取服务费20万元，向种植户收取粪肥农田施用费112万元，合计年收入132万元，预计随着服务客户的增加，收益会逐步增加。

### 3.3 特大型养殖企业：种养结合“全产业链自循环模式”

特大型养殖企业的养殖规模大、粪水资源多，可以大型沼气工程为核心，结合周边土地流转的方式，构建“畜禽养殖—生物工程—清洁能源—高效肥料—种植”有机衔接的种养结合“全产业链自循环模式”。养殖龙头企业可自建特大型沼气发电工程、特大型沼气压缩提纯工程、沼液浓缩工程和沼液有机种植生态基地（土地流转）等。通过沼气发电和生物天然气，可实现畜禽粪污的能源化和清洁利用；通过沼液浓缩工程，可实现沼液深度开发和利用，从而解决沼液用量大、运输难问题；通过土地流转构建有机种植生态基地，可用于沼液浓缩产品还田施用，以辐射周边县市，解决沼液养分循环，实现畜禽养殖无污染的清洁化、高收益的产业链条循环化、零排放的废弃物能源化和果树种植有机化的循环生态农业模式，有效解决了养殖污染问题。

例如，山东民和牧业股份有限公司目前采用的就是该模式。该公司年沼气发电2 300多万度，沼气提纯天然气1 500万立方米，年产固态生物有机肥5万吨，有机水溶肥16万吨。沼液施用于山东省蓬莱市刘家沟镇自建有机种植生态园，并辐射周边县市，基本做到了企业内无污染、零排放、高收益的自循环模式。

## 4 促进种养结合废弃物资源化利用的对策建议

### 4.1 建立畜禽粪污养分管理为基础的准入制度，促进种养结合

畜禽粪污资源化利用是连接种、养两个环节的绿色纽带，种养结合、循环利用已成为社会的共识。畜禽粪便农田利用，不是简单地把畜禽粪便施用到农田土壤，而是需要根据农田作物的养分需求，充分考虑畜禽粪便养分供给量、土壤养分含量，结合周边一系列生态环境参数，进行科学管理。

建议结合欧美国家粪便综合养分管理计划的思路，建立以畜禽粪污养分管理为基础的准入制度，以大型规模养殖场为重点，推动实施养分管理制度。

要求养殖场根据《畜禽粪污土地承载力测算方法指南》，配套足够的农田面积，自己或委托第三方采用科学合理的粪肥施用措施（合适的用量、合适的施用时间和合适的施肥位置），提高粪肥利用率，保证农田的产量、质量和环境安全。建立畜禽养殖场粪便资源化利用台账，农业农村部联合生态环境部建立粪污养分管理的技术标准和监督服务体系。引进荷兰、德国和丹麦等欧盟国家的畜禽养殖产业准入政策，结合我国畜禽养殖污染条例等现有环境影响政策法规，研究出台适合我国的畜禽养殖准入制度。

### 4.2 培育和壮大第三方服务组织，推动畜禽粪污还田的机械化和信息化

第三方服务是一种高效的组织模式，在我国部分区域实施取得了良好的效果，对减少面源污染和提高土壤肥力都起到了积极作用。在种养结合条件好的地区以及养殖密集区域，设置区域性畜禽粪肥施用服务组织，政府可对运输车辆、施肥机械、服务费用等进行引导性补贴，降低种植户肥料成本，让农户从繁重粪肥施用中解放出来，提高种植户使用畜禽粪肥的积极性。研究推广适合我国不同区域、不同田块类型的粪肥还田利用输送和施肥设备，提高粪肥还田的效率。开展粪肥还田利用的信息化管理，实现粪肥还田从养殖场到田块的全过程信息记录，确保还田利用量的科学准确。

### 4.3 建立全链条农田利用监测网络，研发和推广重金属和抗生素减量化等环保技术

建立全链条畜禽粪污还田利用监测网络，监测对象包括规模养殖场、畜禽粪污资源化利用专业机构、粪污施用田块 3 个部分。监测环节包括饲料投入、粪污养殖场内贮存处理、粪污运输、还田利用等主要环节。监测内容包括所有环节中的氮磷钾养分、重金属、抗生素等在粪污、空气、土壤和水体中的含量。各地畜牧部门要督促规模养殖场、畜禽粪污资源化利用专业机构和粪污施用农田做好粪污收集、处理、利用等信息台账工作，逐步实现农田利用的可监测、可报告和可核证。在监测示范的基础上，建立粪污还田利用大数据库，并通过与养殖数据和配方施肥等项目的结合，核证指导科学利用。同时，根据监测结果研发和推广重金属和抗生素减量化环保技术，包括畜禽粪便高温堆肥和生物有机肥化等技术。在实现农田利用可监测、可报告和可核证的基础上，实现可解决和可优化的管理和技术集成。

## 参考文献


1 Herrero M, Thornton P K. Livestock and global change: Emerging issues for sustainable food systems. PNAS, 2013, 110: 20878-20881.

2 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见. [2017-05-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm.

3 中华人民共和国农业部. 畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020年）. [2017-07-07]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201707/t20170710_5742847.htm.

4 中华人民共和国国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报（第二号）. [2017-12-15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/201712/t20171215_1563539.html.

5 Bai Z H, Ma L, Jin S Q, et al. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Flows through the Manure Management Chain in China. Environmental Science & Technology, 2016, 50(24): 13409-13418.

6 颜晓元, 夏龙龙, 遆超普. 面向作物产量和环境双赢的氮肥施用策略, 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 177-183.

7 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.

8 Xia L L, Lam S K, Yan X Y, et al. How does recycling of livestock manure in agroecosystems affect crop productivity, reactive nitrogen losses and soil carbon balance? Environmental Science & Technology, 2017, 51(13): 7450-

7457.

9 中华人民共和国农业部. 农业部办公厅关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知. [2018-01-22]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201801/t20180122_6135486.htm.

10 贾武霞, 文炯, 许望龙, 等. 我国部分城市畜禽粪便中重金属含量及形态分布. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 764-773.

11 中华人民共和国农业部. 关于全国耕地质量等级情况的公报. [2014-12-17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201412/t20141217_4297895.htm.

12 United States General Accounting Office. Animal agriculture: Waste management practices. [1999-06-26]. https://www.gao.gov/archive/1999/rc99205.pdf.

13 Environmental Protection Agency. National pollutant discharge elimination system permit regulation and effluent limitation guidelines and standards for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs). [2003-04-14]. https://www.federalregister.gov/documents/2003/02/12/03-3074/national-pollutant-discharge-elimination-system-permit-regulation-and-effluent-limitation-guidelines.

14 De S, Bezuglov A. Data model for a decision support in comprehensive nutrient management in the United States. Environmental Modelling & Software, 2006, 21: 852-867.

15 何龙斌. 日本发展农业循环经济的主要模式、经验及启示. 世界农业, 2013, (11): 150-153.

# Establish Manure Nutrient Management Plan to Promote Green Development of Integrated Crop-livestock Production System

DONG Hongmin[1*] ZUO Lingling[2] WEI Sha[1] ZHU Zhiping[1] YIN Fubin[1]

（1 Institute of Environmental and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China;

2 Bureau of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100125, China）

**Abstract** Integrated Crop-livestock Production System is the fundamental way to achieve effective utilization of animal manure resources. It is an important measure for both the solution for agricultural non-point source pollution and the practice of the philosophy of green development. Based on the analysis of the status of China's domestic resource utilization and available experience of developed countries, this study proposed three types of specialized Integrated Crop-livestock Production Systems for livestock production business in different scales, targeting the challenges of difficulty in manure land application and low efficiency, which resulted from the separation between crop and livestock production, extensive manure land application, and lack of economic crop-livestock production mechanism. This study also brought up policy recommendations for constructing China's Manure Nutrient Management Plan, which advocate the establishment of a monitorable, reportable, and verifiable accounting mechanism for manure nutrition balance to promote green development of Integrated Crop-livestock Production System.

**Keywords** livestock, manure, integrated crop-livestock production, nutrient management, third party services

*Corresponding author



**董红敏**　中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所副所长，研究员，博士生导师。在国内率先开展了畜禽养殖废弃物资源化利用与气体排放控制研究。国家高层次人才特支计划（万人计划）领军人才，联合国粮农组织（FAO）畜牧环境伙伴计划专家组成员。2012年获得全国优秀科技工作者，2013年获全国五一劳动奖章。先后主持了国家科技项目和课题20多项，全球环境基金、世界银行等国际合作项目10多项，发表学术论文120多篇，主编著作4部，作为第一完成人获得国家科技进步奖二等奖2项。

E-mail: donghongmin@caas.cn

**DONG Hongmin**　Professor, Deputy Director, Institute of Environmental and Sustainable Development in Agriculture (IEDA), Chinese Academy of Agriculture Sciences (CAAS). Dong is the winner of national level “Ten Thousand Talent Program”. Dong was awarded the national outstanding scientist in 2012 and the National May Day Labor Medal in 2013. She has engaged in the research of livestock manure utilization and gas mitigation, and has led more than 20 national scientific research projects, more than 10 international cooperation projects supported by Global Environmental Facility (GEF) and World Bank. She is a member of FAO’s livestock environmental assessment and performance partnership, and she has published more than 120 academic papers and 4 books. Dong was award 2 times of second prize of National Science and Technology Advancement Award. E-mail: donghongmin@caas.cn



■责任编辑：张帆

## 参考文献（双语版）


1 Herrero M, Thornton P K. Livestock and global change: Emerging issues for sustainable food systems. PNAS, 2013, 110(52): 20878-20881.

2 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见. [2017-05-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm.

General Office of the State Council of the People's Republic of China. Opinions of the General Office of the State Council on accelerating the resource utilization of livestock and poultry breeding wastes. [2017-05-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm. (in Chinese)

3 中华人民共和国农业部. 畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020年）. [2017-07-07]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201707/t20170710_5742847.htm.

Ministry of Agriculture of the PRC. Action plan for resource utilization of livestock and poultry wastes (2017—2020). [2017-07-07]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201707/t20170710_5742847.htm. (in Chinese)

4 中华人民共和国国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报（第二号）. [2017-12-15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/201712/t20171215_1563539.html.

National Bureau of Statistics of the PRC. Bulletin of main data of the third national agricultural census (No. 2). [2017-12-15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/201712/t20171215_1563539.html. (in Chinese)

5 Bai Z H, Ma L, Jin S Q, et al. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium flows through the manure management chain in China. Environmental Science & Technology, 2016, 50(24): 13409-13418.

6 颜晓元, 夏龙龙, 遆超普. 面向作物产量和环境双赢的氮肥施用策略. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 177-183.

Yan X Y, Xia L L, Ti C P. Win-win nitrogen management practices for improving crop yield and environmental sustainability. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 177-183. (in Chinese)

7 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.

Han X Z, Wang F X, Wang F J, et al. Effects of long-term organic manure application on crop yield and fertility of black soil. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(1): 66-71. (in Chinese)

8 Xia L L, Lam S K, Yan X Y, et al. How does recycling of livestock manure in agroecosystems affect crop productivity, reactive nitrogen losses and soil carbon balance?. Environmental Science & Technology, 2017, 51(13): 7450-7457.

9 中华人民共和国农业部. 农业部办公厅关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知. [2018-01-22]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201801/t20180122_6135486.htm.

Ministry of Agriculture of the PRC. Notice of the General Office of the Ministry of Agriculture on printing and distributing the *Technical Guide for Calculating the Carrying Capacity of Livestock and Poultry Manure Land*. [2018-01-22]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201801/t20180122_6135486.htm. (in Chinese)

10 贾武霞, 文炯, 许望龙, 等. 我国部分城市畜禽粪便中重金属含量及形态分布. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 764-773.

Jia W X, Wen J, Xu W L, et al. Content and fractionation of heavy metals in livestock manures in some urban areas of China. Journal of Agro-Environment Science, 2016, 35(4): 764-773. (in Chinese)

11 中华人民共和国农业部. 关于全国耕地质量等级情况的公报. [2014-12-17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/

ZZYGLS/201412/t20141217_4297895.htm.

Ministry of Agriculture of the PRC. Bulletin on the national quality grading of cultivated land. [2014-12-17]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201412/t20141217_4297895.htm. (in Chinese)

12 United States General Accounting Office. Animal agriculture: Waste management practices. [1999-06-26]. https://www.gao.gov/archive/1999/rc99205.pdf.

13 Environmental Protection Agency. National pollutant discharge elimination system permit regulation and effluent limitation guidelines and standards for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs). [2003-04-14]. https://www.federalregister.gov/documents/2003/02/12/03-3074/national-pollutant-discharge-elimination-system-permit-regulation-and-effluent-limitation-guidelines.

14 De S, Bezuglov A. Data model for a decision support in comprehensive nutrient management in the United States. Environmental Modelling & Software, 2006, 21(6): 852-867.

15 何龙斌. 日本发展农业循环经济的主要模式、经验及启示. 世界农业, 2013, (11): 150-153.

He L B. The main modes, experiences and enlightenment of agricultural circular economy in Japan. World Agriculture, 2013, (11): 150-153. (in Chinese)